

BIOREMOVAL PEWARNA TEKSTIL MENGGUNAKAN KAYU APU DAN ECENG GONDOK ALIRAN KONTINYU

COLOR DYES BIOREMOVAL BY USING WATER LETTUCE AND WATER HYACINTH WITH CONTINUOUS FLOW

Nicko Hendrawan Suronegoro¹⁾ dan Alia Damayanti^{*1)}

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Kompleks Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

^{*)}E-mail: lia@its.ac.id

Abstrak

Penggunaan tanaman air merupakan salah satu alternatif yang murah dan efisien dalam pengolahan limbah. Pada penelitian ini digunakan variasi pengaturan urutan tanaman uji secara seri (kayu apu – eceng gondok dan eceng gondok – kayu apu) dan variasi konsentrasi limbah zat warna buatan (0,01; 0,005 dan 0,0025 mg/L). Prosedur untuk penelitian ini adalah disiapkan tiga konsentrasi limbah buatan yang berbeda yang diletakkan dalam reservoir. Pada tiap reservoir diparalel menjadi dua rangkaian reaktor, yaitu rangkaian reaktor kayu apu – eceng gondok dan rangkaian reaktor eceng gondok – kayu apu, yang dialirkan secara gravitasi dan kontinu. Pada hari ke nol semua reaktor diisi limbah warna buatan dengan tinggi basah 30 cm kemudian dimasukkan tanaman uji dengan kepadatan 40 mg/cm² pada tiap-tiap reaktor. Kran pengatur debit dibuka dan dialirkan dengan debit konstan, yaitu 1,32 L/hari. Langkah selanjutnya dilakukan pengamatan untuk parameter warna, COD dan pH setiap dua hari sekali selama 14 hari. Hasil dari parameter akan ditampilkan perubahan parameter dan persentasenya dalam tabel dan grafik yang kemudian akan dilakukan analisa. Didapatkan hasil removal warna dan COD terbesar terjadi pada reaktor eceng gondok-kayu apu pada konsentrasi 0,0025 g/L. Sedangkan rangkaian tanaman eceng gondok-kayu apu pada konsentrasi limbah 0,01 g/L menghasilkan laju penyisihan warna dan COD perhari yang terbaik. Variasi konsentrasi limbah berpengaruh terhadap kemampuan removal oleh tanaman, dan perubahan nilai pH tidak terpengaruh oleh variasi konsentrasi limbah zat warna tekstil buatan tetapi terpengaruh oleh aktifitas tanaman uji dan aktifitas mikroorganisma dalam reaktor. Nilai pH cenderung semakin turun hingga hari terakhir penelitian. Nilai pH terendah dicapai reaktor eceng gondok – kayu apu pada konsentrasi limbah zat warna 0,0025 g/L, yakni 7,2.

Kata Kunci : COD (Chemical Oxygen Demand), eceng gondok, kayu apu, pH, quinone, warna

Abstract

Wastewater treatment with water plants has been one of alternative treatment which is efficient and cheap enough, especially to remove colour in textile wastewater. This experiment used synthetic colour of textile wastewater that containing quinone by dissolved methylene blue in PDAM water. With variate sequencing places of water lettuce –water hyacinth and the colour concentration of textile wastewater to parameter of this research, hoped the ability of water plant to remove colour wastewater can be known. It can be concluded from the research that the water hyacinth –water lettuce reaktor series in concentration 0,0025 g/L has the best ability to remove textile colour and COD. The best average removal a day, just had been done by the plant, happened in waste concentration 0,01 g/L in the water hyacinth–water lettuce reaktor for colour and COD. The variations of waste concentration influence removal ability of water plant and the changing of pH values has been influenced by the activities of water plants and the activities of microorganism in reaktor. pH values decrease until the end of research, with the smallest pH is 7,2 that happened in the water hyacinth–water lettuce reaktor series on 0,0025 g/L water concentration.

Keywords: COD, colour, pH, quinone, water hyacinth, water lettuce

1. PENDAHULUAN

Pengolahan air limbah dengan sistem bioremoval memanfaatkan tumbuhan air telah menjadi salah satu alternatif yang cukup murah dan efisien dalam penerapannya, dari hasil pilot plan yang telah dilakukan di berbagai negara maju. Pada umumnya pengolahan air limbah di negara berkembang seperti Indonesia terbentur pada masalah pembiayaan instalasi pengolahan air limbah, untuk itu pengolahan air limbah menggunakan tumbuhan air merupakan alternatif pengolahan dengan pembiayaan yang relatif rendah. Keuntungan cara ini adalah biaya operasional yang relatif murah dan efisiensi yang dihasilkan cukup tinggi meskipun dibutuhkan waktu cukup lama dalam prosesnya, selain itu tumbuhan air yang digunakan dapat diambil sisi ekonomisnya (Khatuddin, 2003).

Zat warna yang paling banyak digunakan sebagai pewarna tekstil adalah zat warna mono-azo asam turunan benzonaphthalene, zat warna mono-azo asam turunan azonaphthalene, zat warna langsung dan zat warna reaktif serta zat warna dengan gugus Quinone. Zat warna dalam limbah tekstil perlu untuk didegradasi karena merupakan zat yang stabil. Zat warna terdiri dari gugus diazo dan quinone. Quinone sendiri mempunyai sifat yang reaktif. Beberapa tumbuhan air yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah adalah kayu apu, eceng gondok, kangkung air dan *duckweed*. Keempat tumbuhan air ini banyak terdapat di perairan air tawar dan pada penelitian terdahulu (Sooknah dan Wilkie, 2004) menunjukkan bahwa keempat tumbuhan air ini mempunyai kemampuan yang cukup baik dalam pengolahan air limbah.

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan kemampuan antara kombinasi rangkaian kayu apu (*Pistia stratiotes*)–eceng gondok (*Eichornia crassipes*) serta eceng gondok–kayu apu dalam menghilangkan warna dan COD limbah zat warna buatan, menentukan pengaruh variasi konsentrasi limbah zat warna buatan terhadap nilai prosentase removal warna limbah zat

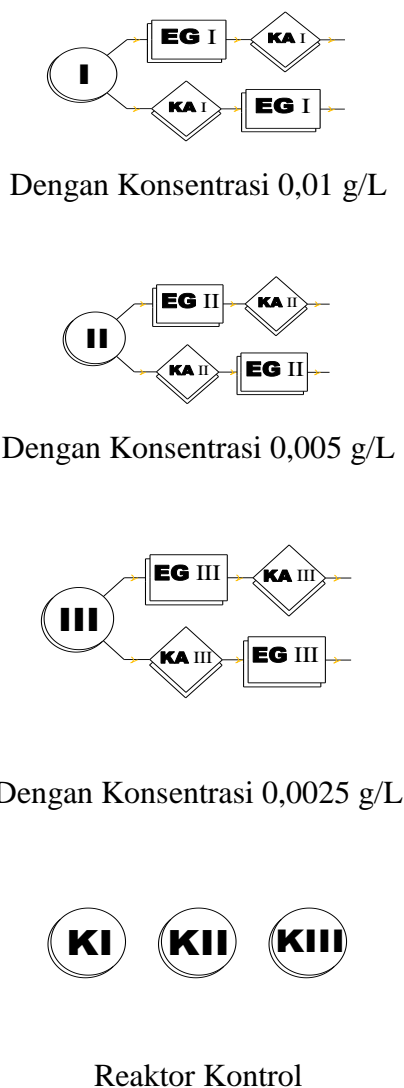
warna oleh rangkaian tanaman uji, dan mencari pengaruh rangkaian reaktor tanaman terhadap perubahan nilai pH limbah zat warna.

2. METODA

Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui konsentrasi maksimum limbah zat warna dan kepadatan tanaman optimum yang akan digunakan dalam penelitian. Penelitian pendahuluan dilakukan masing-masing selama tujuh hari secara berurutan. Selanjutnya dilakukan penelitian secara kontinu menggunakan variasi konsentrasi limbah zat warna dan variasi urutan peletakan rangkaian tanaman. Parameter penelitian yang akan diteliti adalah pH, warna dan COD. Penelitian dilaksanakan selama empat belas hari.

Persiapan alat dan bahan meliputi: bahan-bahan pereaksi kimia dan peralatannya. Alat yang diperlukan dalam penelitian ini, sesuai dengan variasi yang direncanakan adalah sebagai berikut: limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah zat warna tekstil buatan yang mengandung gugus Quinone. Pembuatan limbah ini menggunakan limbah buatan campuran antara bubuk methylene blue dengan air PDAM sebagai pelarut Reaktor.

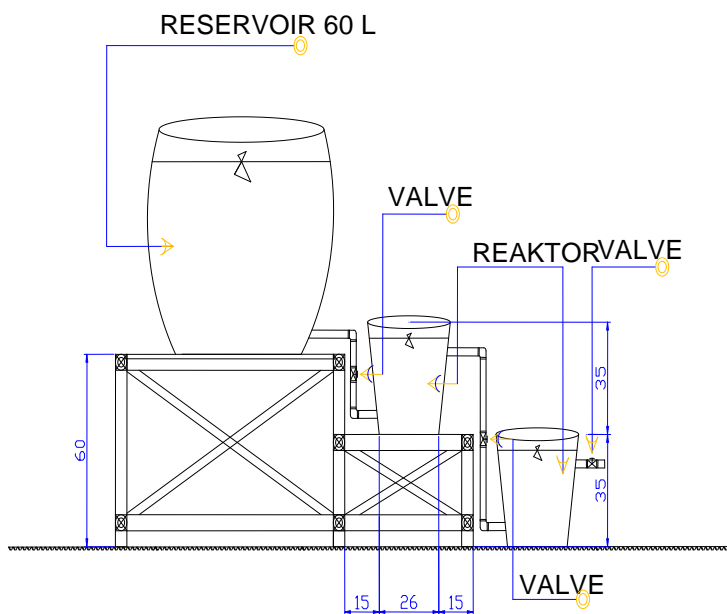
Macam reaktor yang digunakan, yaitu dibutuhkan tiga buah bak reservoir untuk menampung tiga jenis konsentrasi yang berbeda. Tiap-tiap bak reservoir terbuat dari plastik berwarna hitam dengan volume sebesar 60 L yang mudah ditemui di pasaran. Dari tiap-tiap reservoir air limbah dialirkan menuju rangkaian bak berisi tanaman uji dengan volume masing-masing bak ± 30 L. Bak berisi tanaman uji dan bak kontrol mempunyai volume basah yang sama yaitu ± 19 L. Penelitian dilakukan dalam rumah plastik berukuran (3,6 x 3) m². Rumah plastik ini memiliki atap dari plastik dan dinding terbuat dari kain kasa nyamuk. Pelapisan dengan plastik dan kain kasa nyamuk dimaksudkan agar tanaman terlindung dari gangguan air hujan dan hama tetapi tetap mendapatkan sinar matahari dan sirkulasi udara yang cukup.



Gambar 1. Denah Tiap-tiap Reaktor Penelitian

Keterangan :

- KA_I: kayu apu dan konsentrasi larutan 0,01 g/L
- KA_{II}: kayu apu dan konsentrasi larutan 0,005 g/L
- KA_{III}: kayu apu dan konsentrasi larutan 0,0025 g/L
- EG_I: eceng gondok dan konsentrasi larutan 0,01 g/L
- EG_{II}: eceng gondok dan konsentrasi larutan 0,005 g/L
- EG_{III}: eceng gondok dan konsentrasi larutan 0,0025 g/L
- K_I: kontrol dan konsentrasi larutan 0,01 g/L
- K_{II}: kontrol dengan konsentrasi larutan 0,005 g/L
- K_{III}: kontrol dengan konsentrasi larutan 0,0025 g/L



Gambar 2. Rangkaian Reaktor Penelitian

Jenis tanaman air yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu apu dan eceng gondok. Tanaman ini dipakai dengan pertimbangan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang pengolahan limbah dengan menggunakan tanaman air, tanaman tersebut memberikan hasil yang cukup baik. Kriteria tanaman air yang digunakan adalah sebagai berikut :Kayu apu, Jumlah helai daun 4 – 6 helai. Tinggi tanaman 8 – 12 cm kemudian Eceng gondok dengan jumlah helai daun 3 – 5 helai dan tinggi tanaman 10 – 15 cm.

Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi tanaman dilakukan selama empat hari untuk mengondisikan tanaman air yang digunakan agar dapat beradaptasi dengan media tanam yaitu air limbah tekstil buatan dengan gugus Quinone. Kemampuan untuk beradaptasi dapat dilihat dari layu atau tidaknya tanaman tersebut selama masa aklimatisasi. Selain itu, perubahan ukuran daun juga menunjukkan bahwa tanaman tersebut telah beradaptasi dengan lingkungan barunya. Setelah masa aklimatisasi selesai, maka tanaman tersebut siap untuk

dipergunakan dalam penelitian. Proses aklimatisasi dilakukan sebagai berikut: persiapan media tanam dengan menggunakan limbah buatan Quinone dan air pengencer (air PDAM). Penanaman tanaman air pada media tanam selama 4 hari. Pada hari ke empat, dilakukan pemilihan tanaman air yang tidak layu (tidak ada warna coklat pada daun) seperti pada awal penanaman, untuk kemudian tanaman air tersebut siap untuk diaplikasikan.

Penelitian Pendahuluan

Pelaksanaan penelitian pendahuluan dilakukan sebelum penelitian utama dimulai, penelitian ini diadakan dalam dua tahap, yakni penelitian untuk mengetahui nilai konsentrasi maksimum penelitian bertujuan untuk mengetahui nilai maksimum limbah zat warna yang digunakan, dimana tanaman uji dapat hidup normal dan mampu mendegradasikan limbah tersebut. Nilai konsentrasi maksimum yang didapatkan akan digunakan dalam penelitian selanjutnya. Pengamatan dilakukan dalam reaktor diam (*batch reactor*). Pengamatan yang dilakukan meliputi kondisi kesegaran daun (tidak ada warna coklat pada daun) tanaman uji dan nilai removal COD. Pengamatan juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kepekatan warna dengan konsentrasi COD dalam air limbah.

Prosedur penelitian adalah sebagai berikut: pembuatan media air limbah zat warna bergugus Quinone dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,05; 0,01 dan 0,005 g/L (nilai tersebut didapatkan dari penelitian sebelumnya). Masing-masing media diletakkan dalam reaktor dengan ketinggian basah sama, yakni 30 cm dengan kepadatan tanaman 40 mg/cm². Dilakukan pengamatan terhadap tanaman uji selama 7 hari dengan pengambilan sampel setiap 2 hari sekali. Konsentrasi limbah buatan zat warna maksimum dimana tanaman uji dapat meremoval COD dan tetap segar (tidak terdapat daun berwarna coklat) sampai hari terakhir pengamatan akan digunakan sebagai konsentrasi limbah buatan maksimum. Penelitian untuk mengetahui kepadatan optimum tanaman bertujuan untuk mengetahui

kepadatan optimum tanaman kayu apu dan eceng gondok yang ideal untuk tiap-tiap reaktor yang digunakan dalam penelitian utama nantinya. Kepadatan nantinya dinyatakan dalam berat basah tanaman persatuan luasan reaktor (mg/cm²).

Untuk uji pendahuluan ini dilakukan pengamatan Pengamatan dilakukan dalam reaktor diam (*batch reactor*). Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan kesegaran daun dan juga dilihat nilai penurunan COD yang trennya selalu turun. Prosedur penelitian adalah sebagai berikut: penanaman tanaman uji pada media air limbah zat warna buatan dengan konsentrasi larutan 0,01 mg/L pada nilai kepadatan 10, 20, 30 dan 40 mg/cm² (range kepadatan yang didapat dari beberapa percobaan sebelumnya).

Masing-masing media diletakkan dalam reaktor dengan ketinggian basah sama, yakni 30 cm dan dilakukan pengamatan terhadap tanaman uji selama 7 hari dengan pengambilan sampel setiap 2 hari sekali. Kepadatan tanaman dimana tanaman uji mempunyai nilai removal COD terbaik dan tetap segar sampai hari terakhir pengamatan dengan akan digunakan sebagai kepadatan tanaman dalam penelitian nantinya.

Penelitian Utama

Pada penelitian ini, untuk setiap unit media termasuk variabel tanaman menggunakan sistem aliran kontinu, terkecuali pada reaktor kontrol menggunakan aliran diam. Wadah yang digunakan sebagai tempat media tanam adalah bak-bak dari plastik yang dirangkai secara paralel untuk konsentrasi yang sama. Variasi yang dilakukan adalah jenis pengaturan tanaman air yaitu kayu apu dan eceng gondok secara seri dengan pengaturan variasi konsentrasi limbah zat warna buatan.

Sistem pencahayaannya menggunakan sinar matahari. Agar kayu apu mendapatkan cahaya matahari yang cukup, maka reaktor dalam rumah kaca diletakkan pada ruang terbuka sehingga dapat menerima cahaya matahari

secara langsung. Penelitian ini dilakukan selama 14 hari dan setiap dua hari sekali dilakukan pengamatan untuk mengukur perubahan warna, COD dan pH media tanam.

Pada penelitian ini digunakan variasi pengaturan urutan tanaman uji secara seri (kayu apu – eceng gondok atau eceng gondok – kayu apu) dan variasi konsentrasi limbah zat warna buatan (0,01; 0,005 dan 0,0025 mg/L). Prosedur untuk penelitian ini adalah: disiapkan tiga konsentrasi limbah buatan yang berbeda yang diletakkan dalam reservoir. Pada tiap reservoir di paralel menjadi dua rangkaian reaktor, yaitu rangkaian reaktor kayu apu – eceng gondok dan rangkaian reaktor eceng gondok–kayu apu, yang dialirkan secara gravitasi dan kontinu.

Disiapkan tiga reaktor kontrol tanpa tanaman dengan tiga konsentrasi yang berbeda yang dioperasikan secara batch. Pada hari ke nol semua reaktor diisi limbah warna buatan dengan tinggi basah 30 cm kemudian dimasukkan tanaman uji dengan kepadatan 40 mg/cm² pada tiap-tiap reaktor. Kran pengatur debit dibuka dan dialirkan dengan debit konstan, yaitu 1,32 L/hari (perhitungan debit dilampirkan dalam lampiran C). Selanjutnya dilakukan pengamatan untuk parameter warna, COD dan pH setiap dua hari sekali selama 14 hari. Hasil dari parameter akan ditampilkan perubahan parameter dan prosentasenya dalam tabel dan grafik yang kemudian akan dilakukan analisa.

Parameter yang Dianalisa

Analisa parameter dilakukan pada tiap variasi jenis tanaman air dan zat warna tekstil. Pengamatan tanaman dilakukan selama 14 hari dengan analisa dilakukan setiap 2 hari sekali. Pengukuran warna menggunakan spektrofotometer, dengan panjang gelombang optimum hasil kalibrasi zat warna tekstil buatan yang digunakan.

Analisa pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dengan keakuratan $\pm 0,1$. Pengukuran COD ditentukan dengan metode titrimetrik refluks tertutup seperti prosedur yang terdapat dalam Alaerts dan Santika (1984) dengan pengenceran 10 kali.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Konsentrasi Maksimum Air Limbah

Penelitian pendahuluan diperlukan untuk mencari faktor-faktor yang akan diterapkan dalam penelitian nantinya. Faktor-faktor tersebut adalah nilai maksimum dari limbah zat warna tekstil buatan yang masih mampu untuk dibiodegradasikan oleh tanaman uji dan kepadatan optimum tanaman uji dalam reaktor penelitian. Untuk menentukan konsentrasi maksimum air limbah mempunyai konsentrasi yang diujikan adalah 0,1; 0,05; 0,01 dan 0,005 g/L.

Penelitian pendahuluan ini dilakukan pada keadaan batch untuk tiap tanaman uji dengan kepadatan tanaman uji 40 mg/cm². Dari Tabel 1, nilai COD pada konsentrasi warna 0,1 g/L (A1); 0,05 g/L (A2); 0,01 g/L (A3) dan 0,005 g/L (A4) berturut-turut adalah 1.877 mg/L COD, 1.481 mg/L COD, 1.086 mg/L COD dan 691 mg/L COD.

Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi limbah zat warna dengan nilai COD yaitu, semakin tinggi konsentrasi limbah zat warna, maka semakin tinggi nilai COD-nya. Hal ini sama dengan hasil penelitian lain yang juga menggunakan limbah zat warna tekstil buatan dengan gugus quinone (Chantiratikul *et al.*, 2008). Pada reaktor A3, A4 dan K nilai COD menurun sebanding dengan lamanya waktu pengamatan. Sedangkan pada reaktor A1 dan A2 nilai COD awalnya turun, tetapi akan naik hingga hari terakhir pengamatan.

Tabel 1. Penentuan Konsentrasi maksimum COD pada Kayu Apu

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	Ke	A1	A2	A3	A4	K
0		1.877	1.481	1.086	691	691
1		1.845	1.409	1.027	636	655
3		1.953	1.395	977	595	623
5		2.329	1.418	861	506	587
7		2.526	1.684	737	421	547

Keterangan :

A1 : reaktor kayu apu konsentrasi limbah 0,1 g/L

A2 : reaktor kayu apu konsentrasi limbah 0,05 g/L

A3 : reaktor kayu apu konsentrasi limbah 0,01 g/L

A4 : reaktor kayu apu konsentrasi limbah 0,005 g/L

K : reaktor kontrol konsentrasi limbah 0,005 g/L

Tabel 2. Penentuan Konsentrasi Maksimum COD Dengan Eceng Gondok

Hari	Nilai COD (mg/L)					
	Ke	E1	E2	E3	E4	K
0		1.877	1.481	1.086	691	691
1		1.818	1.364	955	591	655
3		1.86	1.209	744	465	623
5		1.924	1.215	709	405	587
7		2.105	1.263	632	316	547

Keterangan:

E1: reaktor eceng gondok konsentrasi limbah 0,1 g/L

E2: reaktor eceng gondok konsentrasi limbah 0,05 g/L

E3: reaktor eceng gondok konsentrasi limbah 0,01 g/L

E4: reaktor eceng gondok konsentrasi limbah 0,005 g/L

K: reaktor kontrol konsentrasi limbah 0,005 g/L

Kenaikan nilai COD pada reaktor A1 dan A2 disebabkan tanaman uji yang ditanam pada reaktor, mulai layu dan akhirnya mengalami kematian. Kematian tersebut menambah jumlah COD dalam reaktor A1 dan A2. Jadi pada reaktor A1 dan A2 justru terjadi penambahan COD yang mana bertentangan dengan tujuan penelitian untuk menurunkan nilai COD. Karena itu konsentrasi limbah pada A1 (0,1 g/L) dan A2 (0,05 g/L) tidak dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya. Nilai konsentrasi limbah pada reaktor A3 dan A4 yang besarnya masing-masing 0,01 g/L dan 0,005 g/L dapat digunakan dalam penelitian nantinya. Percobaan terhadap eceng gondok dilakukan dengan konsentrasi limbah pada E1, E2, E3, E4 dan K adalah 0,1; 0,05; 0,01; 0,005

dan 0,005 g/L. Hasil penurunan kandungan COD dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 1 dan 2 dapat disimpulkan, konsentrasi maksimum yang dapat didegradasi oleh kedua tanaman uji adalah 0,01 g/L. Dari kedua tanaman juga dapat disimpulkan eceng gondok lebih tahan terhadap limbah dari pada kayu apu.

Penentuan Kepadatan Optimum Tanaman Uji

Kepadatan tanaman uji yang dianalisa adalah 10, 20, 30 dan 40 mg/cm². Konsentrasi limbah zat warna yang digunakan adalah 0,005 g/L dan 0,01 g/L. Hasil penurunan kandungan COD dapat dilihat pada Tabel 3,

dibiodegradasikan kayu apu. Tetapi tidak pada semua kerapatan, tanaman kayu apu mampu menyisihkan COD.

Tabel 3. Perubahan Nilai COD Pada Tanaman Kayu Apu

Hari Ke	Nilai COD (mg/L)				
	A1	A2	A3	A4	K
0	691	691	691	691	691
1	664	655	636	627	655
3	688	651	614	586	623
5	810	648	608	506	587
7	895	789	632	400	547

Dari Tabel 3 terlihat nilai COD mengalami penurunan pada tiap-tiap reaktor. Penurunan terbesar terjadi pada reaktor A4, dengan nilai COD di akhir pengamatan sebesar 400 mg/L COD. Terlihat bahwa semakin besar nilai kepadatan kayu apu per satuan luas maka semakin besar pula nilai COD.

Pada reaktor A1, A2 dan A3 dengan kerapatan 10 mg/cm², 20 mg/cm² dan 30 mg/cm², nilai COD bahkan semakin tinggi. Hal tersebut menandakan bahwa terjadi penambahan COD pada reaktor-reaktor A1 – A3. Perlakuan yang sama untuk mencari konsentrasi limbah maksimum dan kepadatan tanaman optimum dilakukan pada tanaman eceng gondok, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan Nilai COD Pada Tanaman Eceng gondok

Hari Ke	Nilai COD (mg/L)				
	E1	E2	E3	E4	K
0	691	691	691	691	691
1	655	645	636	591	655
3	633	605	558	465	623
5	648	587	506	405	587
7	842	579	421	316	547

Terjadinya layu atau mati pada tanaman uji saat penelitian pendahuluan berpengaruh dalam nilai COD yang diamati. Kematian tanaman uji dapat disebabkan karena semakin berkurangnya nutrisi dalam media tanam dan juga efek dari kandungan unsur-unsur yang kompleks serta jumlahnya yang terlalu tinggi sehingga tanaman uji tidak mampu untuk

melakukan proses penyisihan air limbah atau untuk sekedar beradaptasi.

Hal itu menyebabkan nilai COD malah bertambah naik pada akhir penelitian pendahuluan. Sehingga dari penelitian pendahuluan tersebut didapatkan nilai konsentrasi limbah maksimum sebesar 0,01 g/L dan kepadatan tanaman uji optimum adalah 40 mg/cm².

Pengaruh Variasi yang Digunakan Terhadap Perubahan Konsentrasi Warna

Untuk penelitian utama, yaitu pengaruh variasi terhadap perubahan warna, COD dan pH. Konsentrasi limbah dan kepadatan optimum tanaman menggunakan hasil dari penelitian pendahuluan. Konsentrasi limbah zat warna yang digunakan dengan nilai konsentrasi limbah maksimumnya, yakni sebesar 0,01 g/L. Dan untuk konsentrasi selanjutnya dengan penurunan 50% berturut-turut adalah 0,005 g/L dan 0,0025 g/L. Sedangkan untuk kepadatan tanaman yang digunakan, yakni sebesar 40 mg/cm².

Dari Tabel 5 terlihat kecenderungan nilai warna turun dari awal waktu pengambilan sampel ke waktu pengambilan berikutnya pada semua reaktor. Penurunan warna terlihat terjadi secara bertahap baik pada reaktor kontinu ataupun pada reaktor kontrol, tetapi pada reaktor kontrol penurunan warna cenderung lebih rendah daripada penurunan warna pada reaktor yang ditanami tanaman uji.

Pada hari pertama dalam konsentrasi yang sama terlihat penurunan di reaktor eceng gondok – kayu apu lebih tinggi daripada di reaktor kayu apu – eceng gondok, dapat dilihat pada Tabel 5. Reaktor EA1 yang berwarna merah lebih cepat penurunannya daripada grafik reaktor AE1 yang berwarna kuning. Hal yang relatif sama terjadi pada reaktor dengan konsentrasi limbah warna yang lainnya. Tingkat penurunan terbesar terjadi pada reaktor EA1 yang berwarna merah, walau nilai warna terendah terjadi dalam reaktor EA3 yang berwarna biru. Dapat disimpulkan bahwa pada tiap-tiap reaktor baik reaktor dengan

tanaman uji atau reaktor kontrol terjadi penurunan nilai warna akibat adanya proses removal warna. Removal warna terjadi diakibatkan oleh beberapa proses fisik, kimiawi dan biologis yang terjadi dalam reaktor. Proses fisik yang terjadi adalah karena proses sedimentasi partikel-partikel tersuspensi ataupun koloid partikel padat dalam air limbah karena gaya gravitasi bumi dan berat jenis partikel tersuspensi yang lebih besar daripada berat jenis partikel air limbah.

Proses ini dapat dibuktikan dengan ditemukannya sedimen di dasar bak reaktor, baik yang terdapat tanaman atau yang tidak terdapat tanaman. Proses fisik-kimiawi yang terjadi adalah terjadinya adsorpsi oleh tanaman terhadap koloida padat karena adanya gaya tarik-menarik antar partikel (gaya Van der Waals). Proses kimiawi yang terjadi karena penguraian atau perubahan bentuk senyawa organik yang kurang stabil oleh pengaruh radiasi sinar UV, oksidasi dan reduksi. Proses biologis yang terjadi adalah absorpsi unsur-unsur hara yang diperlukan oleh tanaman uji dan proses metabolisme mikroorganisma dalam air limbah dan akar tanaman.

Pengaruh Variasi Yang Digunakan Terhadap Perubahan Nilai COD

Dari Tabel 6 terlihat adanya kecenderungan bahwa semakin besar konsentrasi limbah zat warna, makin besar nilai COD-nya. Misalnya, pada reaktor dengan konsentrasi limbah 0,01 g/L nilai COD-nya sebesar 1.185 mg/L COD dan pada reaktor dengan konsentrasi limbah 0,0025 mg/L nilai COD-nya sebesar 494 mg/L COD. Hal ini dikarenakan dalam larutan warna limbah terdapat bahan-bahan organik, sehingga semakin besar (pekat) konsentrasi limbah zat warna buatan semakin tinggi nilai COD-nya.

Nilai COD pada konsentrasi limbah yang sama tampak lebih besar penurunannya pada rangkaian reaktor eceng gondok-kayu apu daripada rangkaian reaktor kayu apu-eceng gondok pada hari pengamatan yang sama. Misalnya tampak pada reaktor EA1 dan AE1

pada awal pengamatan dengan konsentrasi COD sebesar 1.185 mg/L COD, pada hari keempat pengamatan menjadi masing-masing berurutan pada EA1 dan AE1 adalah 744 dan 1.023. Nilai COD terkecil yang mampu dihasilkan adalah pada reaktor EA3 dengan nilai 91 mg/L COD yang terjadi pada hari ke-14 pengamatan. Tetapi jenis mikroorganisma dalam reaktor dengan tanaman air lebih banyak (Polprasert, 1989).

Pengaruh Variasi Yang digunakan Terhadap Nilai pH

Pengukuran pada awal percobaan memperlihatkan kalau pH berada pada range yang hampir sama pada tiap-tiap konsentrasi yang berbeda, yaitu antara 8,8 – 8,9. Kayu apu memiliki rentang pH yang optimum untuk pertumbuhannya antara 6,5 – 8 (Vesely *et al.*, 2011). Nilai pH pada awal percobaan tentunya berada di luar range kriteria optimum untuk pertumbuhan kayu apu tersebut. Sedangkan pertumbuhan eceng gondok mempunyai pH optimum sebesar 7,5 – 9,5 (Gopal, 1987). Berarti nilai pH pada pengukuran awal berada di dalam range yang menunjang pertumbuhan eceng gondok. Nilai pH pada semua reaktor relatif mengalami penurunan dari awal hingga akhir penelitian. Selama berlangsungnya penelitian, penurunan pH relatif lebih tajam terjadi pada reaktor yang terdapat tanaman uji daripada reaktor kontrol yang tidak terdapat tanaman uji.

Penurunan pH yang terjadi pada reaktor kontrol K1 – K3 antara 0,6 – 0,8. Sedangkan pada reaktor dengan tanaman uji di dalamnya mempunyai rentang penurunan pH antara 1,4–1,6. Pengamatan dari Tabel 7 memperlihatkan kalau pH nilainya berfluktuasi dengan range yang tidak begitu lebar dari awal pengamatan hingga hari terakhir pengamatan.

Nilai pH terendah terjadi pada reaktor EA3 pada hari terakhir pengamatan, yakni 7,2. Dari pengamatan tersebut dapat terlihat tidak terdapat hubungan antara perubahan konsentrasi limbah zat warna buatan dengan perubahan nilai pH.

Tabel 5. Perubahan Nilai Warna

Hari Ke	Nilai Warna (mg/L)								
	EA1	AE1	EA2	AE2	EA3	AE3	K1	K2	K3
0	0,425	0,425	0,1970	0,1970	0,1024	0,1024	0,4255	0,1970	0,1024
1	0,346	0,3940	0,1576	0,1812	0,0788	0,0867	0,4097	0,1891	0,0945
4	0,267	0,3546	0,1182	0,1655	0,0630	0,0788	0,3703	0,1733	0,0867
6	0,220	0,3230	0,0867	0,1261	0,0552	0,0630	0,3624	0,1655	0,0788
8	0,189	0,2758	0,0788	0,1103	0,0473	0,0552	0,3388	0,1497	0,0709
11	0,157	0,2364	0,0709	0,1024	0,0315	0,0473	0,3230	0,1339	0,0630
14	0,133	0,1655	0,0473	0,0709	0,0158	0,0236	0,2600	0,1103	0,0552

Tabel 6. Perubahan Nilai Konsentrasi COD

Hari Ke	Nilai COD (mg/L)								
	EA1	AE1	EA2	AE2	EA3	AE3	K1	K2	K3
0	1.185	1.185	790	790	494	494	1.185	790	494
1	1.000	1.091	636	718	409	436	1.136	745	455
4	744	1.023	465	651	326	372	1.023	707	419
6	608	911	344	506	253	304	1.013	658	405
8	526	737	316	453	211	263	947	579	389
11	449	629	270	404	180	225	899	539	360
14	364	455	182	273	91	136	727	455	318

Tabel 7. Perubahan nilai pH

Hari Ke	Nilai pH								
	EA1	AE1	EA2	AE2	EA3	AE3	K1	K2	K3
0	8,9	8,9	8,8	8,8	8,8	8,8	8,9	8,8	8,8
1	8,8	8,7	8,9	8,6	8,6	8,6	8,9	8,8	8,8
4	8,5	8,4	8,4	8,3	8,4	8,2	8,7	8,6	8,7
6	8,2	8,1	8,2	8,0	8,1	7,9	8,6	8,5	8,6
8	8,0	7,9	7,9	7,8	7,9	7,7	8,6	8,4	8,5
11	7,7	7,6	7,6	7,5	7,6	7,4	8,4	8,2	8,3
14	7,5	7,4	7,4	7,3	7,4	7,2	8,3	8,0	8,1

Keterangan:

- EA1 : reaktor eceng gondok & kayu apu konsentrasi limbah 0,01 g/L
 AE1 : reaktor kayu apu & eceng gondok konsentrasi limbah 0,01 g/L
 EA2 : reaktor eceng gondok & kayu apu konsentrasi limbah 0,005 g/L
 AE2 : reaktor kayu apu & eceng gondok konsentrasi limbah 0,005 g/L
 EA3 : reaktor eceng gondok & kayu apu konsentrasi limbah 0,0025g/L
 AE3 : reaktor kayu apu & eceng gondok konsentrasi limbah 0,0025g/L
 K1 : reaktor kontrol 0,01 g/L
 K2 : reaktor kontrol 0,005 g/L
 K3 : reaktor kontrol 0,0025 g/L

Nilai pH cenderung dipengaruhi oleh faktor tanaman dan mikroorganisma yang terdapat dalam bak dalam rangkaian reaktor tersebut. Dapat dilihat beberapa kecenderungan yang terjadi, yaitu :Perubahan nilai pH tidak berhubungan dengan perubahan konsentrasi limbah zat warna yang ada. Perubahan pH yang ada lebih cenderung disebabkan oleh aktifitas tanaman uji yang terdapat dalam bak dalam tiap rangkaian reaktor yang ada. Pada

reaktor dengan rangkaian eceng gondok – kayu apu range penurunan pH relatif lebih sedikit daripada reaktor dengan rangkaian kayu apu – eceng gondok. Perbedaan itu disebabkan perbedaan kemampuan tanaman terhadap pH. Kayu apu dan mikroorganisma cenderung untuk menurunkan nilai pH, sedangkan eceng gondok cenderung untuk menaikkan nilai pH. Fakta-fakta tersebut bersesuaian dengan beberapa penelitian yang

telah dilakukan sebelumnya, yaitu: bak yang ditanami kayu apu memiliki kemampuan untuk menurunkan nilai pH (Mercado dan Vega, 1975), dan eceng gondok memberi kontribusi terhadap kenaikan pH, hal itu disebabkan jumlah penyerapan proton yang dilakukan eceng gondok relatif melebihi hasil proton proses mikrobial (Mangkoediharjo, 2002). Selain itu, penurunan pH pada media dapat disebabkan karena adanya gas yang dihasilkan oleh mikroorganisma yang terdapat pada media (Dwidjoseputro, 1980). Gas-gas yang timbul sebagai hasil pembongkaran (fermentasi, respirasi) oleh mikroorganisma dapat berupa karbondioksida (CO_2), hidrogen (H_2).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah: tanaman air yang digunakan memiliki kemampuan untuk menurunkan warna dan COD limbah zat warna buatan yang digunakan dalam penelitian ini. Rangkaian reaktor eceng gondok – kayu apu memiliki kemampuan menurunkan yang lebih baik daripada reaktor kayu apu – eceng gondok.

Prosentase removal terbaik dicapai rangkaian reaktor eceng gondok – kayu apu pada konsentrasi limbah zat warna 0,0025 g/L, yaitu: prosentase removal COD = 81,59 % , prosentase removal warna = 84,62 % . Dibanding dengan removal terbaik yang dicapai rangkaian kayu apu – eceng gondok pada konsentrasi limbah zat warna 0,0025 g/L sebesar: prosentase removal COD = 72,39 % , prosentase removal warna = 76,92 % .

Laju penyisihan warna dan COD oleh tanaman saja terbaik dicapai tanaman pada rangkaian reaktor eceng gondok – kayu apu pada konsentrasi limbah 0,01 g/L, yaitu: laju penyisihan COD rata-rata = 25,97 mg/L/hari, laju penyisihan warna rata-rata = 0,0090 mg/L/hari. Dibanding dengan laju penyisihan yang dicapai rangkaian kayu apu – eceng gondok pada konsentrasi limbah zat warna 0,01 g/L sebesar : Laju penyisihan COD rata-

rata = 19,48 mg/L/hari, Laju penyisihan warna rata-rata = 0,0068 mg/L/hari. Variasi konsentrasi limbah zat warna quinone berpengaruh terhadap kemampuan removal warna oleh tanaman.

Pada konsentrasi 0,01 g/L quinone penyisihan tertinggi dicapai oleh reaktor eceng gondok – kayu apu dengan efisiensi 68,52 %; pada konsentrasi 0,005 g/L dicapai oleh reaktor eceng gondok – kayu apu dengan efisiensi 76 %; dan pada konsentrasi 0,0025 g/L dicapai oleh reaktor eceng gondok – kayu apu dengan efisiensi 84,62 %.

Perubahan nilai pH tidak terpengaruh perubahan nilai konsentrasi limbah zat warna yang diujikan atau urutan rangkaian reaktor tanaman, tetapi terpengaruh aktifitas tanaman uji dan mikroorganisma dalam reaktor. Nilai pH cenderung semakin turun hingga hari terakhir penelitian. Nilai pH terendah dicapai reaktor kayu apu – eceng gondok pada konsentrasi limbah zat warna 0,0025 g/L, yaitu 7,2.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., dan S.S. Santika (1987) *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional Indonesia, Surabaya.
- Chantiratikul, A., P. Atiwetin, dan P. Chantiratikul (2008). Feasibility of Producing Selenium-Enriched Water Lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Journal of Biological Science*. 3(8). 644-648.
- Dwijoseputro, D. (1980) *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. PT. Gramedia, Jakarta.
- Gopal, B. (1987) *Water Hyacinth*. Elsevier Science Publisher B.V, Netherlands.
- Khiatuddin, M. (2003). *Melestarikan Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa Buatan*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mangkoedihardjo, S. (2002). *Efek Zat Organik Air Limbah Terhadap Pertumbuhan Eceng*

- Gondok. Disertasi. Program Pasca Sarjana Unibraw, Malang.
- Mercado, B.L., dan M.Vega (1975). *Biology and Control Water Lettuce (Pistia stratiotes L.)*.
- Sooknah, R.D., dan A.C. Wilkie (2004). *Nutrient Removal by Floating Aquatic Macrophytes Cultured in Anaerobically Digested Flushed Dairy Manure Wastewater*.
- Polprasert, C. (1989). *Organic Waste Recycling. Environmental Engineering Division Asian Institute Technology, Bangkok, Thailand.*
- Soemantojo, R.W. (1997). *Keseimbangan Antara Pertumbuhan Dan Panenan, Dalam Rangka Pemanfaatan Eceng Gondok. Lingkungan Dan Pembangunan. 17 (2).*
- Vesely, T., P. Tlustos, dan J. Skacova (2011). *The used of water lettuce (Pistia stratiotes) of rhizofiltration of highly polluted solution by cadmium and lead. International Journal of Phytoremediation. 13. 859-872.*